



Comportement d'un fil du Wire Scanner de la ligne diagnostics d'IPHI

F. Launay

► To cite this version:

F. Launay. Comportement d'un fil du Wire Scanner de la ligne diagnostics d'IPHI. 2006, pp.13.
in2p3-00111980

HAL Id: in2p3-00111980

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00111980>

Submitted on 6 Nov 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IPNO 06-05

**Comportement d'un fil du Wire Scanner
de la ligne diagnostics d'IPHI.**

François Launay

ETUDE DU COMPORTEMENT D'UN FIL DU WIRE SCANNER DE LA LIGNE DIAGNOSTICS D'IPHI.

François Launay *

Octobre 2006

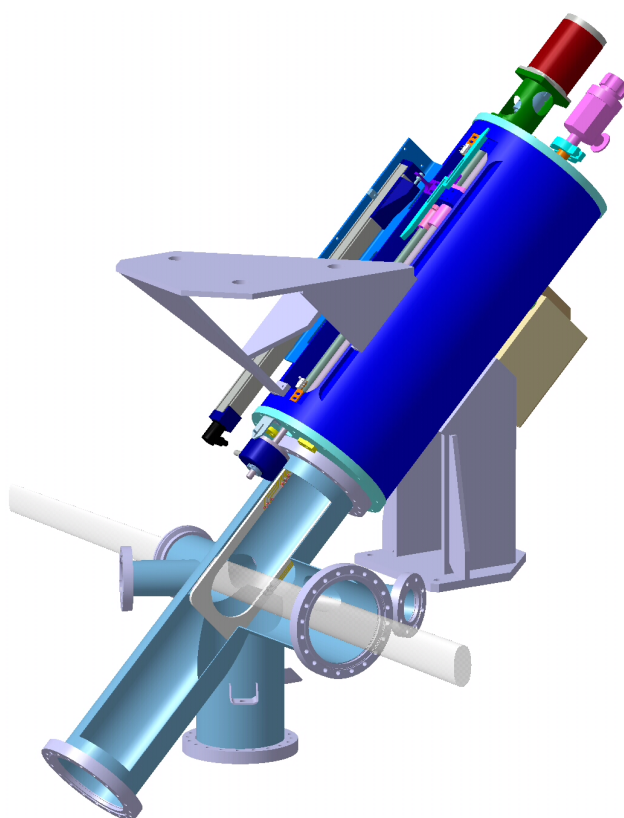


Figure 1. Wire Scanner et mécanisme d'insertion.

* CNRS/IN2P3/IPNO/DA univ Paris-Sud 91406 Orsay Cedex. (launayf@ipno.in2p3.fr)

Sommaire.

1	Introduction.	4
2	Etude thermique.	4
2.1	Généralités.....	4
2.2	Perte d'énergie.	5
2.3	Calculs thermique avec modèle simplifié.	6
2.4	Nature du signal sur le fil.	8
2.5	Evaluation de l'intensité du courant électronique secondaire.	8
2.6	Effet thermoélectronique.	8
2.7	Modèle éléments finis.....	10
2.8	Evaluation de l'intensité du courant thermoélectronique.	11
3	Résumé et conclusions.	13
4	Remerciement.....	13
5	Références.	13

1 Introduction.

Parmi les diagnostics nécessaires à la caractérisation du faisceau d'IPHI, un moniteur à fils mobiles, appelé Wire Scanner, est monté sur la ligne diagnostics pour mesurer le profil du faisceau de protons accéléré par IPHI [1]. Le principe est de balayer le faisceau dans les plans transverses X et Y, avec un fil positionné normalement à l'axe Z du faisceau (direction de propagation). Un signal est recueilli sur le fil et traité numériquement.

2 Etude thermique.

2.1 Généralités.

Le capteur comporte deux fils en carbone, d'une longueur de 150mm et d'un diamètre de $33\mu\text{m}$. Tendus orthogonalement sur un cadre (Figure 2), ils permettent un balayage Y puis X par une seule direction de translation. Deux fils adjacents à chaque fils de signal sont polarisables en tensions.

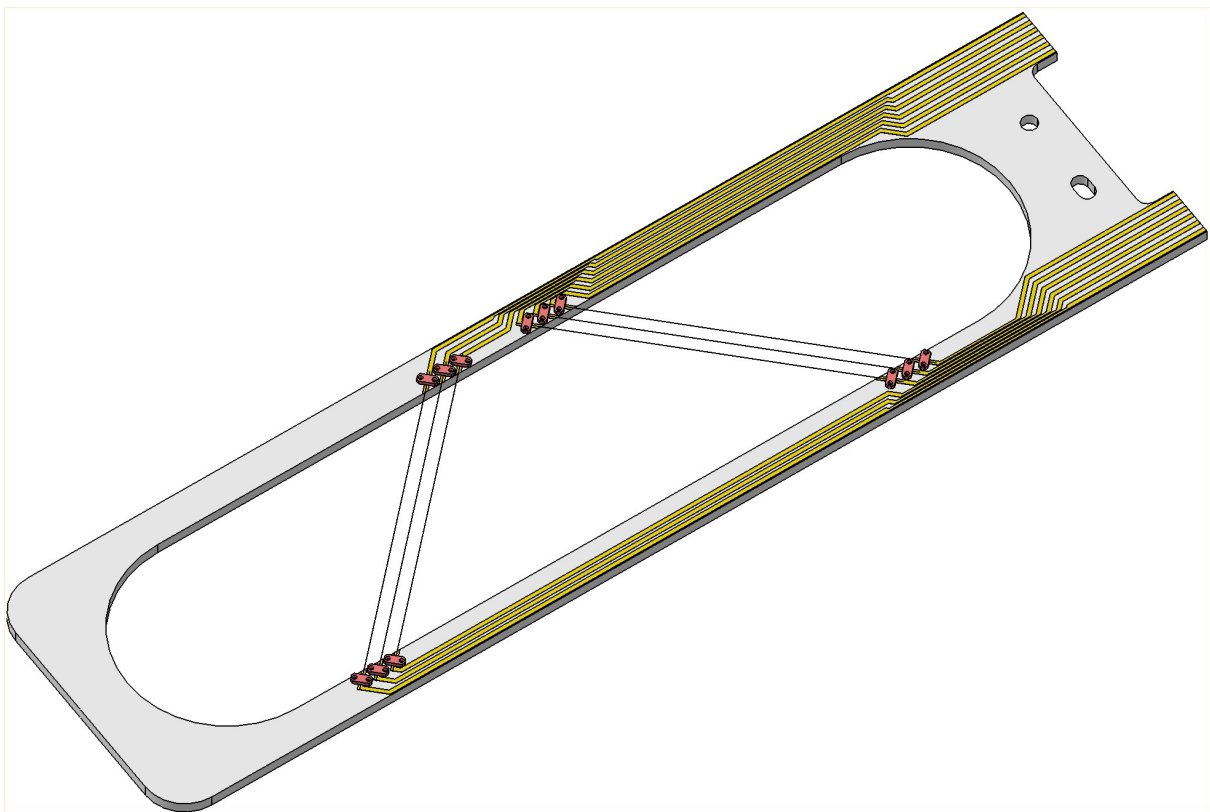


Figure 2. Cadre supportant les fils.

Les fils interceptent un faisceau de protons de 3MeV d'une intensité de 100mA, pendant $200\mu\text{s}$, avec une période de répétition de 1s. La distribution des particules dans le faisceau est représentée par une fonction bi-gaussienne. Les paramètres de cette fonction de densité bi-gaussienne sont fixés pour cette étude tel que $\sigma_x = 2\text{mm}$ et $\sigma_y = 6\text{mm}$.

Pour les calculs suivants, nous utiliserons une épaisseur moyenne de fil, en substituant à la section circulaire une section rectangulaire équivalente tel que $e_{\text{moy}} = \pi d/4$ soit $e_{\text{moy}} \approx 26\mu\text{m}$ (Figure 3).

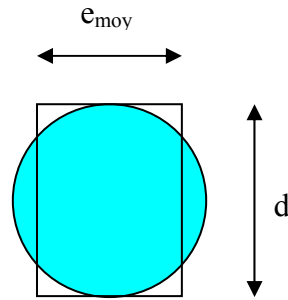


Figure 3. Définition de l'épaisseur moyenne.

2.2 Perte d'énergie.

Les protons traversant le fil sont ralentis par des collisions élastiques et cèdent tout ou partie de leur énergie sous forme de chaleur. Pour des H^+ de 3MeV dans du carbone l'épaisseur nécessaire pour stopper les particules est d'environ $80\mu\text{m}$ [2] (Figure 4).

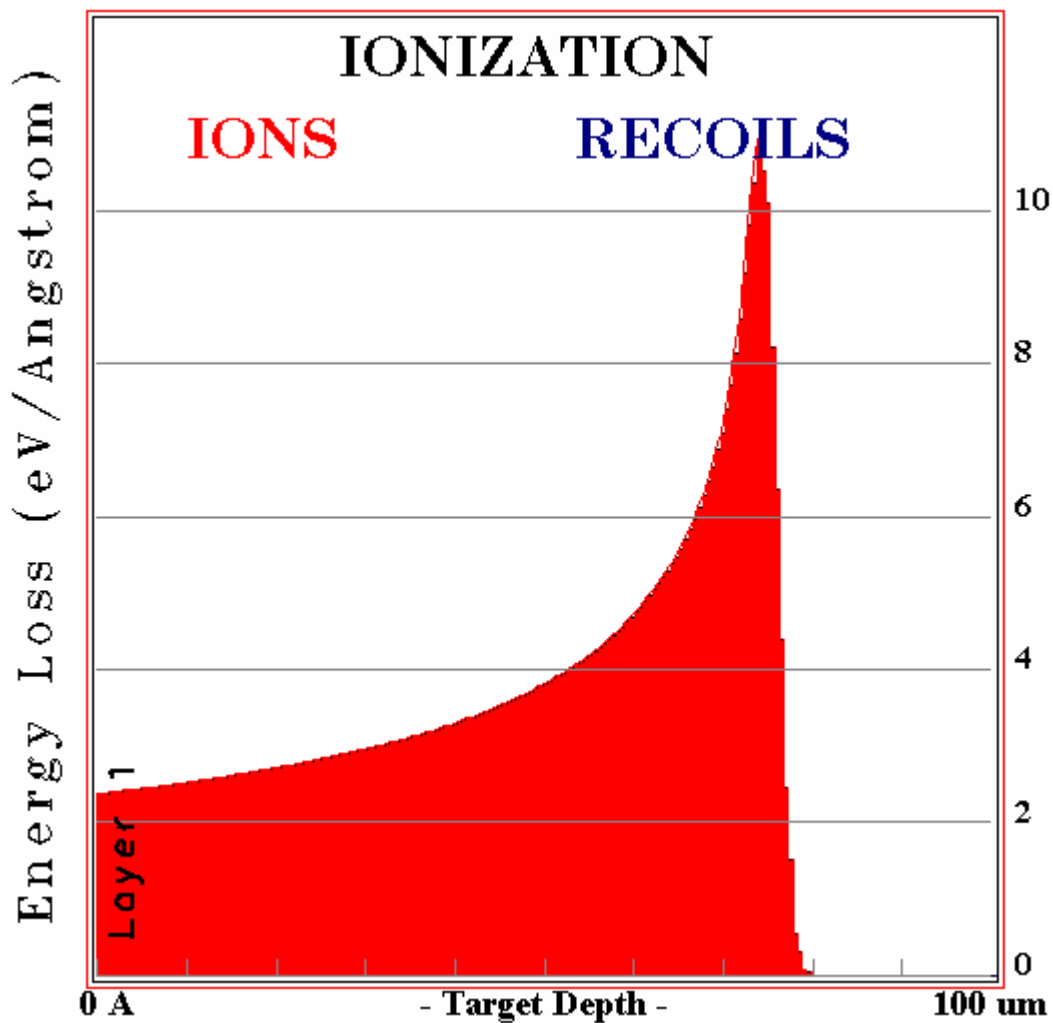


Figure 4. Dépôt d'énergie H^+ 3MeV dans du carbone.

Dans un fil de 26μm la perte d'énergie linéique moyenne dE/dx est de 2.6 eV/ 10⁻¹⁰m (Figure 5).

L'énergie déposée dans le fil de 26μm est : Efil = e_{moy} .dE/dx soit Efil ~ 0.678MeV.

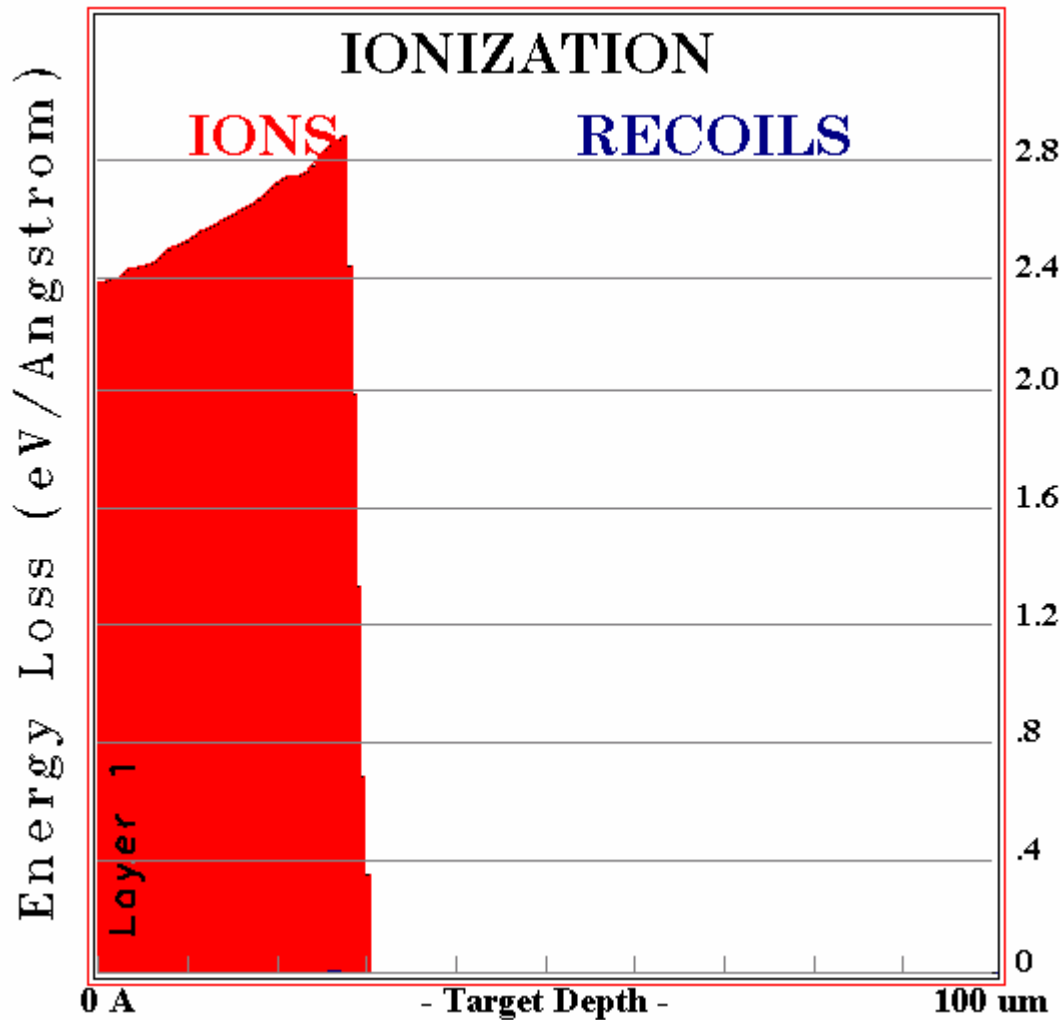


Figure 5. dE/dx pour des H⁺ 3MeV dans 26μm de carbone.

2.3 Calculs thermique avec modèle simplifié.

Une approche simplifiée consiste à considérer l'équilibre thermique du fil en prenant uniquement en compte le refroidissement par rayonnement avec l'environnement. Le fil étant dans le vide il n'y a pas de convection et la conduction longitudinale est négligée. L'équation d'équilibre thermique peut s'écrire :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\frac{1}{q_e} \frac{dE}{dx} e_{pmoy} . dI . Vf - \varepsilon . \sigma . (T^4 - T_{amb}^4) . Af}{\rho . Cp(T) . Vf} \quad \text{avec}$$

T : température en Kelvin

t : temps en seconde

q_e : charge de l'électron en C

dI : densité de courant en A/m²

V_f : volume du fil en m³

ϵ : émissivité du carbone

σ : constante de Stephan-Boltzmann en W/m².K⁴

A_f : surface du fil en m²

ρ : densité du carbone en kg/m³

C_p : capacité calorifique fonction de la température en J/kg.K

On peut évaluer la température maximum du fil en fonction du temps (Figure 6), en prenant une densité moyenne de courant au centroïde du faisceau $dI_{0,0} = 130\text{mA/cm}^2$ dans les conditions nominales du §2.1.

La température atteint 1895°C à la fin de l'impulsion de 200μs et diminue jusqu'à 320°C à la fin de la période de répétition. On constate que le régime établi est atteint dès la fin de la troisième impulsion.

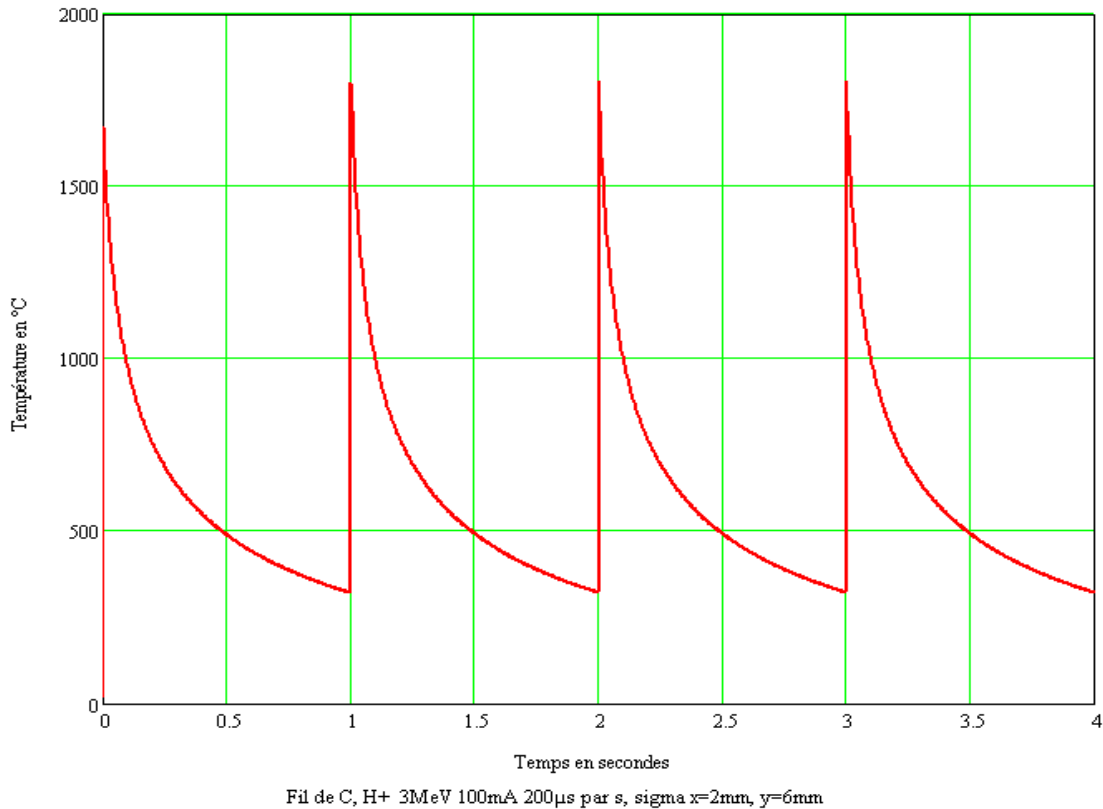


Figure 6.

La température maximale (1895°C) est inférieure à la température de fusion du carbone (3527 °C).

La température maximale acceptable, en dehors des considérations thermomécanique (déformations, endommagement, rupture), sera fixée par la qualité du signal que l'on souhaite récupérer sur les fils.

2.4 Nature du signal sur le fil.

Comme il a été dit dans le § 2.2, les protons de 3MeV traversent le fil de 33μm de diamètre en perdant de l'énergie par collisions élastiques avec les électrons du réseau. Les électrons de ces chocs élastiques sont déplacés, et pour ceux proches de la surface, ils sont éjectés dans la direction des ions. Ce processus est appelé production d'électrons secondaires. C'est ce courant créé par les électrons quittant le fil qui sera mesuré.

2.5 Evaluation de l'intensité du courant électronique secondaire.

Le nombre d'électrons secondaires produit N_{es} est proportionnel au nombre de protons incidents NH^+ soit $N_{es} = \gamma.NH^+$. Le taux de production d'électrons secondaires γ est proportionnel à dE/dx . Comme les protons entrent dans le fil à 3MeV et ressortent à une énergie de 2,3MeV, nous prenons en considérations γ_B (γ Backward) entrant et γ_F (γ Forward) pour la sortie. Le taux de production total γ est la somme des contributions en entrée et en sortie tel que $\gamma = \gamma_B + \gamma_F$ [3, 4].

Pour notre application $\gamma_B = 0.57$, $\gamma_F = 0.82$ d'où $\gamma = 1.39$. Ces valeurs sont des minorants dans le cas de la section rectangulaire. La section circulaire va disperser le spectre en énergie des protons sortants du fil pouvant entraîner une augmentation de γ [5].

Le nombre de protons traversant le fil est :

$$NH^+ = \frac{t_p}{q_e} \iint_{fil} dI(x, y) dy dx \quad \text{avec } t_p \text{ la durée de l'impulsion.}$$

Pour le fil horizontal $NH^+_x \approx 2,74.10^{11}$ et pour le fil vertical $NH^+_y \approx 8,22.10^{11}$.

Le courant électronique secondaire I_{es} est :

$$I_{es} = \frac{q_e}{t_p} \gamma.NH^+$$

$I_{esx} = 306\mu A$ pour le fil horizontal, et $I_{esy} = 918\mu A$ pour le fil vertical.

Un signal parasite produit par un effet thermique peut venir entacher d'erreur le signal mesuré.

2.6 Effet thermoélectronique.

Lorsqu'un solide est chauffé dans le vide, un certain nombre d'électrons de la bande de valence acquièrent l'énergie suffisante pour quitter la surface.

La densité de courant thermoélectronique $J(T)$ est donnée par la formule de Richardson-Dushman :

$$J(T) = A.T^2 . \exp\left(\frac{-W_s C(T)}{k_B.T}\right) \quad \text{en A/m}^2.$$

Avec : $W_s C$ le travail de sortie des électrons en eV et $A = \left[\frac{4.\pi.k_B^2.m_e q_e}{h_p^3} \right]$ en $\text{A/m}^2.\text{K}^2$,

où :

h_p est la constante de Plank en J.s
 k_B la constante de Boltzmann en J/K
 m_e la masse de l'électron en kg.

On prendra pour le calcul avec du carbone (Figure 7) :

$$A = 60\text{A/cm}^2\text{K}^2 \text{ et } W_s C(T) = 4,39\text{eV} - 1,7.10^{-4}\text{eV.T}$$

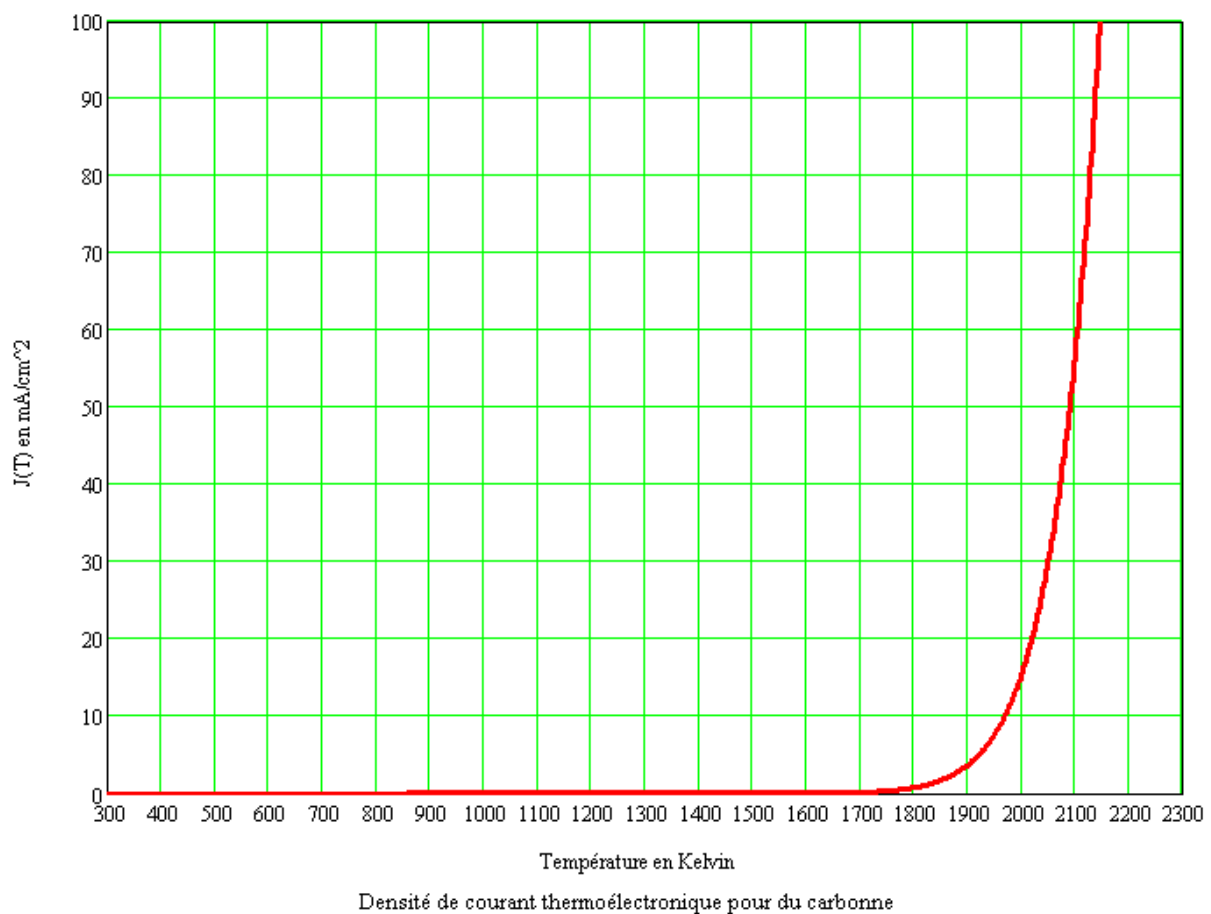


Figure 7.

2.7 Modèle éléments finis.

Pour évaluer le courant thermoélectronique, nous utilisons une résolution de l'équation de transfert de chaleur par les éléments finis (EF) en régime transitoire. Le transfert radiatif et la conduction sont pris en compte dans ce calcul, ainsi que les caractéristiques du carbone variant avec la température. Ceci nous permettra d'avoir accès à la répartition des températures le long du fil en fonction du temps (Figure 8).

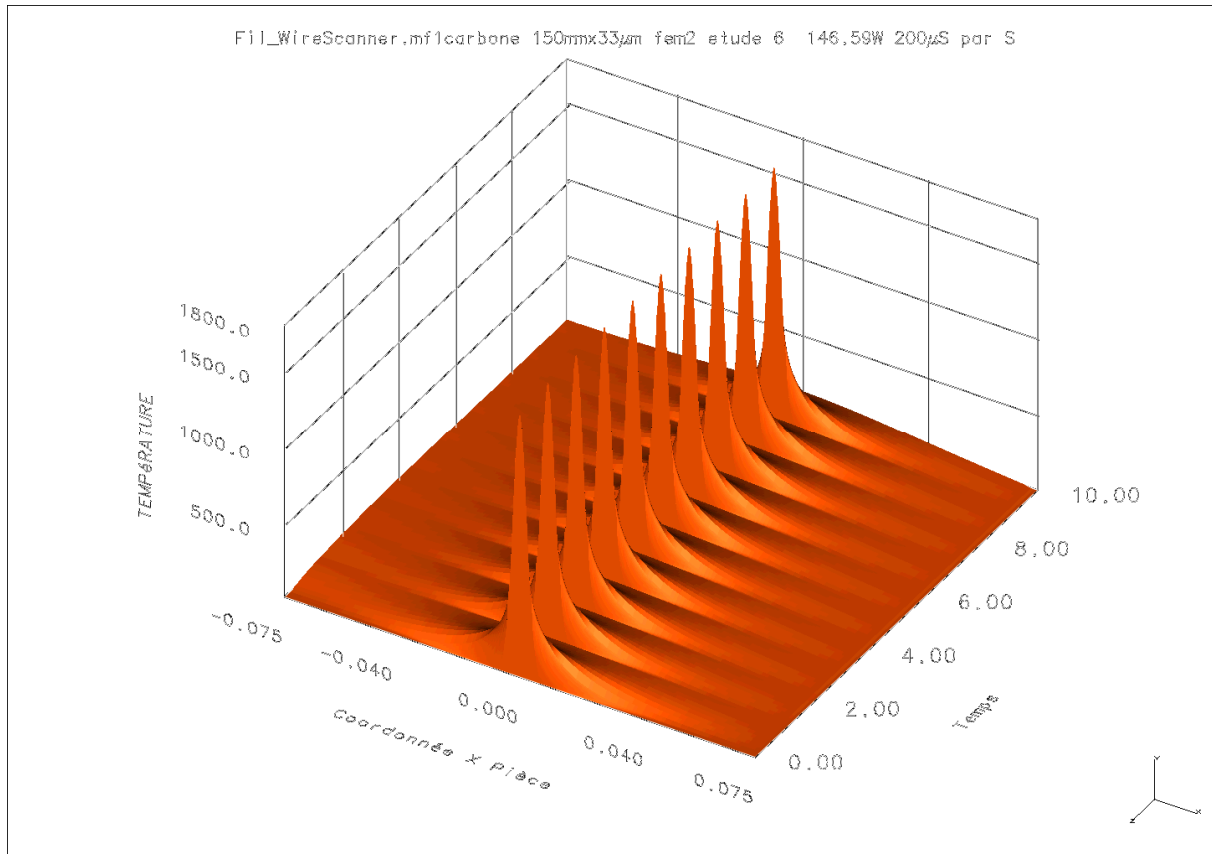


Figure 8. Températures sur le fil carbone 150mmx33µm, plan X, 147W 200µs/s, en fonction du temps.

La température au centre du fil (Figure 9) en régime établi à la fin des 200µs est plus basse, (1785°C), que celle obtenue au §2.3 (1895°C). De même, à la fin de la période de relaxation, la température descend à 150°C contre 320°C du §2.3.

Cette différence entre les deux calculs résulte de la conjonction de deux effets, d'une part le transfert de chaleur conductif est présent dans le deuxième calcul, et d'autre part la puissance intégrée de 147W est légèrement sous estimée par rapport au 156W d'un modèle simplifié (intégration de la fonction continue de densité).

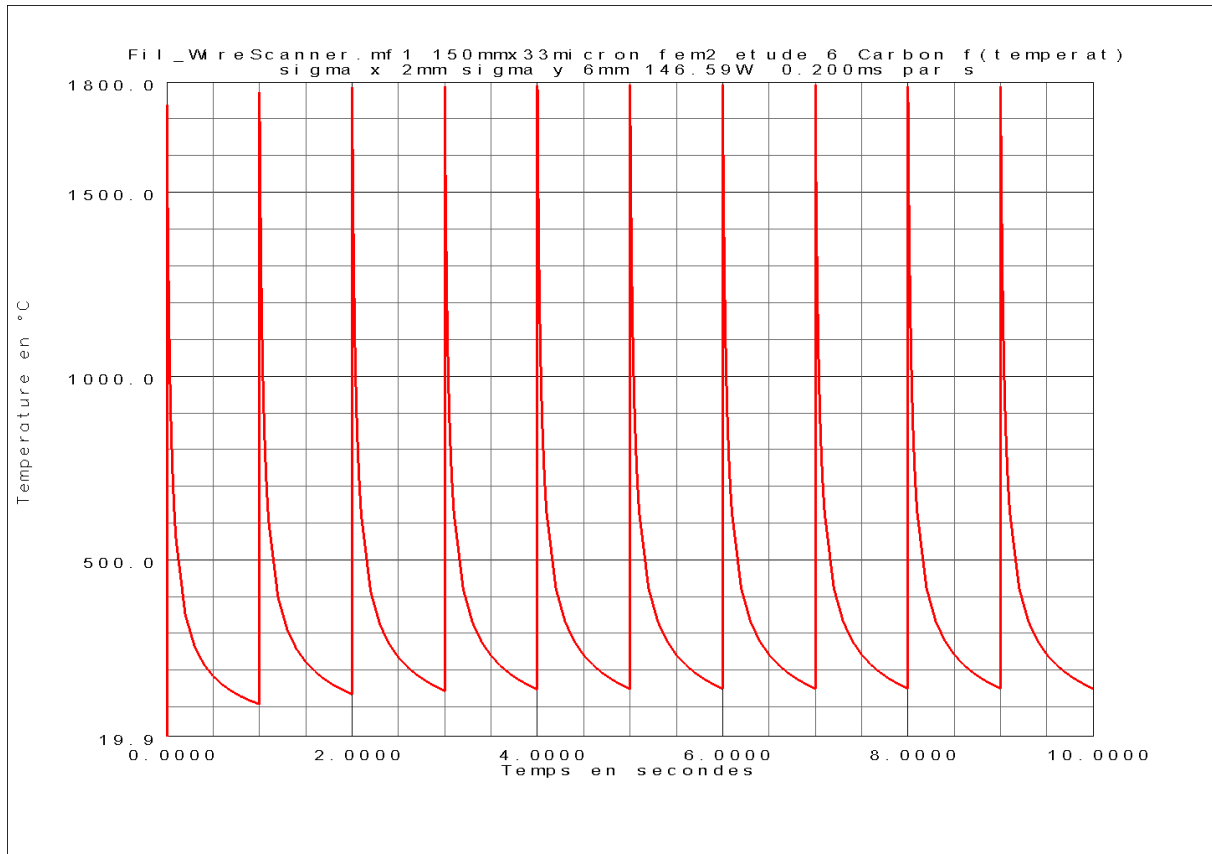


Figure 9. Température au centre du fil carbone 150mmx33 μ m, plan X, 147W 200 μ s/s, en fonction du temps.

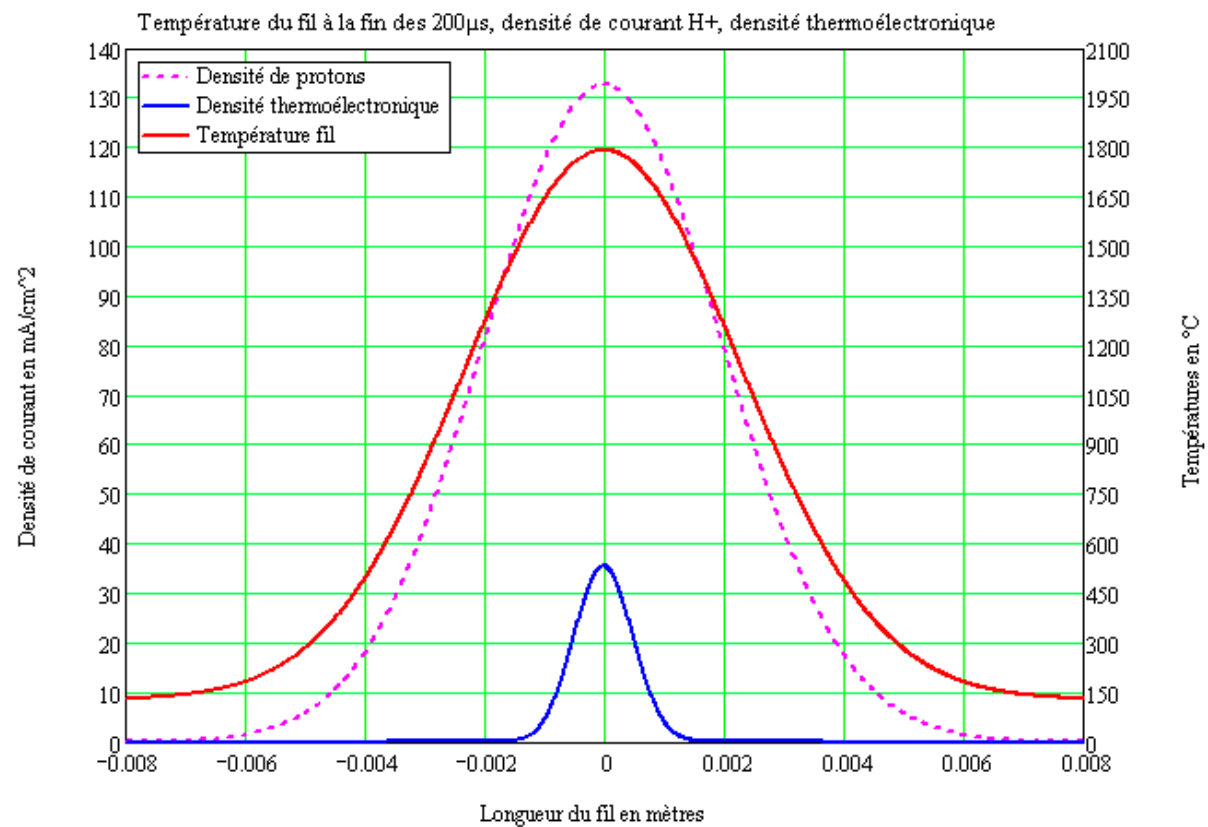
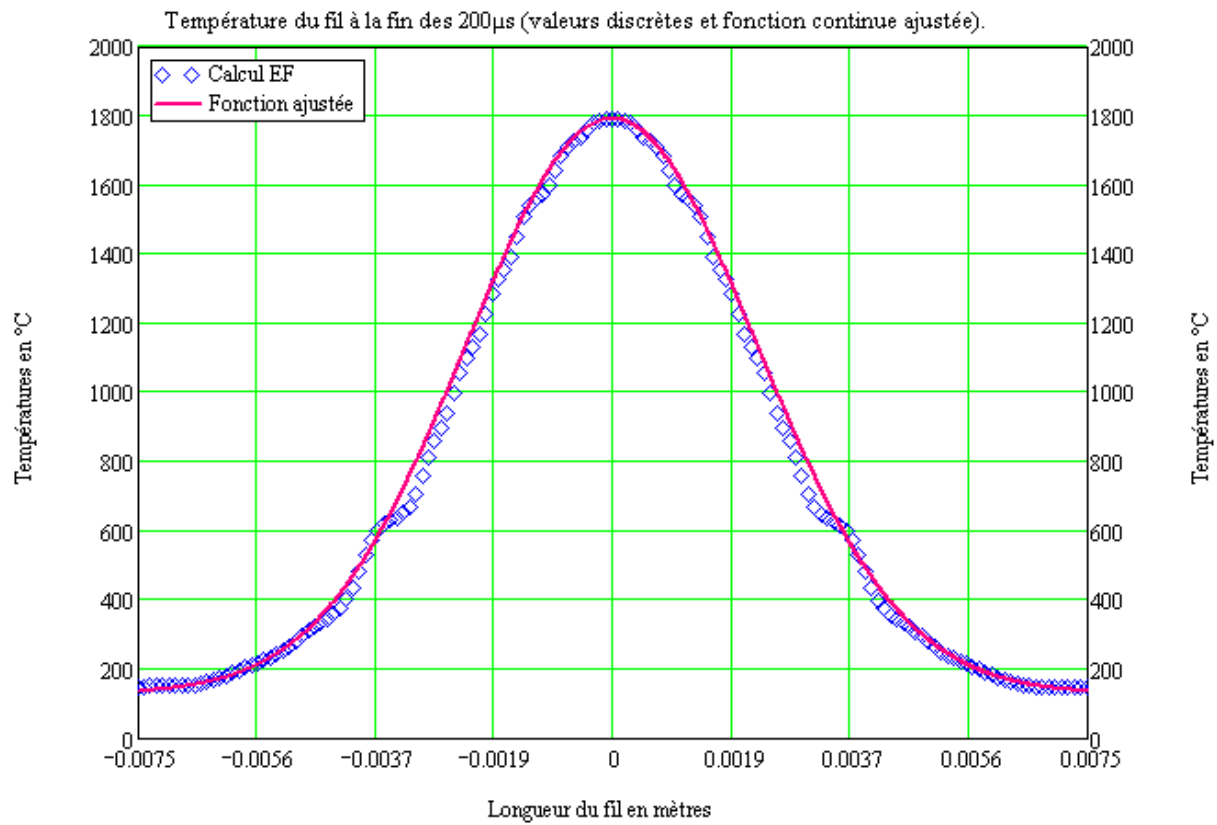
2.8 Evaluation de l'intensité du courant thermoélectronique.

On récupère la carte de températures du fil calculées avec le modèle EF à la fin d'un cycle de chauffage (200 μ s). Une fonction continue est ajustée à ces valeurs discrètes de température (Figure 10).

La fonction de densité de courant thermoélectronique ($J(T)$ du §2.6) est appliquée à la fonction d'ajustement et nous donne la répartition de la densité de courant générée par la température le long du fil (Figure 11). Le graphe de cette Figure montre la répartition des protons (courbe pointillée) sur une portion du fil (14mm), plan X centré sur le faisceau. Le freinage de ces protons dans le fil induit une élévation de la température du fil (courbe rouge). Cette température génère à son tour une émission d'électrons (courbe densité en bleu).

En calculant l'intégrale sur le fil de la densité thermoélectronique nous obtenons le courant créé par cet effet thermoélectronique soit : $I_{eth} = 45\mu A$.

On constate que ce courant est produit sur une petite partie du fil $\sim 3mm$ correspondant à une zone où la température dépasse $\sim 1460^\circ C$.



3 Résumé et conclusions.

Un faisceau de protons incident de 3MeV d'une intensité de 100mA pendant 200 μ s avec une périodicité T d'une seconde, traverse un fil de carbone de 150mm x 33 μ m. Les particules dans le paquet sont réparties suivant une loi bi-gaussienne de $\sigma_x = 2$ mm et de $\sigma_y = 6$ mm.

Dans ces conditions le fil du plan X centré dans le faisceau atteint une température maximale d'environ 1800°C. L'intensité du courant électronique secondaire récupéré sur le fil est d'environ 306 μ A. Le courant thermoélectronique au temps $t = 200\mu$ s (périodique T) a une intensité de 45 μ A. Soit environ 15% du signal utile.

Ces chiffres de courant sont des ordres de grandeur, particulièrement pour le courant thermoélectronique où la valeur du paramètre A (§2.6) possède une grande incertitude [6].

Le modèle de calcul par EF montre la répartition spatiale et temporelle des températures en tenant compte des transferts thermiques radiatif et conductif, ainsi que la non linéarité des caractéristiques des matériaux avec la température.

4 Remerciement.

Nous remercions Serge Della Negra pour ses conseils à propos de la production d'électrons secondaires, ainsi que Joel Arianer au sujet de l'effet thermoélectronique.

5 Références.

- [1] Rapport de conception technique du wire scanner. A.Olivier.
- [2] SRIM F.Ziegler, J.P. Biersack
- [3] H.Rothard, J.Schou, K.O.Groeneveld, Physical Review A, 45,3 Feb. 1992 1701-1710
- [4] A.Clouvas and Al, Physical Review B,39,10, Apr.1989 6316-6320.
- [5] S.Della Negra IPNO Communication privée.
- [6] Henry F. Yvey Westinghouse Electric Corporation, Letters to the Editor July 8, 1949.